

川东南地区早志留世晚期 沉积特征及沉积模式分析

朱志军^{1,2} 陈洪德³

(1.核资源与环境省部共建国家重点实验室培育基地(东华理工大学),江西 南昌 330013;2.东华理工大学
地球科学学院,江西 抚州 344000;3.成都理工大学沉积地质研究院,四川 成都 610059)

摘要:通过对川东南地区野外露头、大量岩心、测井等资料的综合研究结果表明,研究区早志留世晚期发育 2 个沉积体系组,包括 3 种沉积相及众多亚相、微相类型。其中三角洲沉积主要发育于靠近江南—雪峰山隆起的川东南—湘西地区;碳酸盐岩台地沉积主要发育于川南—黔北地区;陆棚沉积主要发育于宜宾—重庆一带。沉积模式显示了早志留世晚期川东南地区为受古隆起控制的局限海盆,研究区东部发育一套以碎屑岩为主的小河坝组,由于江南—雪峰山不断隆起,向研究区提供了大量物源,沉积了一套向上变粗的三角洲沉积。研究区南部受黔中隆起控制,由于黔中隆起相对稳定,在其北侧主要发育了与小河坝组同时异相的石牛栏组碳酸盐岩台地沉积。该新认识有助于了解川东南地区小河坝组砂体的时空展布,以及预测该区有利油气聚集区带。对下一步油气勘探部署具有重要的理论意义和实际指导价值。

关键词:川东南地区;志留系;小河坝组;沉积模式

中图分类号:P512.2;P534.43 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)01-0064-13

川东南地区位于扬子板块中南部、黔中隆起北缘的北部拗陷,即四川盆地东南部。该区早古生代地层发育,出露有寒武系、奥陶系、局部有泥盆系,志留系。受广西运动的影响,四川盆地中上志留统多被剥蚀,多数地区仅保留了下志留统龙马溪组、石牛栏组或小河坝组和韩家店组,晚古生代地层直接覆盖在早志留世地层之上。早志留世的龙马溪组黑色页岩、石牛栏组灰岩(或小河坝组砂岩)和韩家店组页岩又构成了良好的生-储-盖组合。志留系小河坝组砂岩标准剖面出露在南川县龙骨溪小河坝,本组下段为中至厚层状灰绿色粉砂岩,上部局部夹生物碎屑灰岩条带,具不明显波痕,含珊瑚、腕足类、三叶虫等,厚度 187 m;上段为黄绿、灰绿色页岩,夹生物灰岩薄层或透镜体,底部夹粉砂岩条带,具虫迹、小型波痕,生物灰岩中富含珊瑚、腕足类、苔藓虫及海百合

等,厚度 300 m。川东、川东南及湘西等地区也见有出露。在黔北地区则广泛出露与小河坝组同时异相地层单元石牛栏组,由于受黔中隆起的控制,地层厚度在不同地区变化较大,具有南薄北厚、埋藏南浅北深的特点。石牛栏组下部主要为浅海陆棚相深灰色瘤状灰岩、泥质灰岩、泥灰岩;上部主要为碳酸盐岩台地环境,沉积了一套生物碎屑灰岩、生物灰岩及藻粘结灰岩、白云岩。

川东南地区位于四川盆地东部有利天然气富集带上(图 1),油气地质条件优越,纵向上存在上三叠统一侏罗系碎屑岩、石炭系—三叠系碳酸盐岩及震旦系—志留系三大勘探层系两大勘探领域^[2-13]。长期以来,在该地区勘探工作重点放在二叠系和三叠系,并取得显著成效。对于古生界下组合油气勘探始于 20 世纪 60 年代,除威远气田外,一直没有较大的突

收稿日期:2011-04-12;改回日期:2011-06-25

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目“中国南方中上扬子区叠合盆地沉积充填过程与物质分布规律”(40739901)及核资源与环境教育部重点实验室开放基金项目(090909)资助。

作者简介:朱志军,男,1976年生,博士,主要从事沉积学教学和科研工作;E-mail:zhuzj013@163.com。

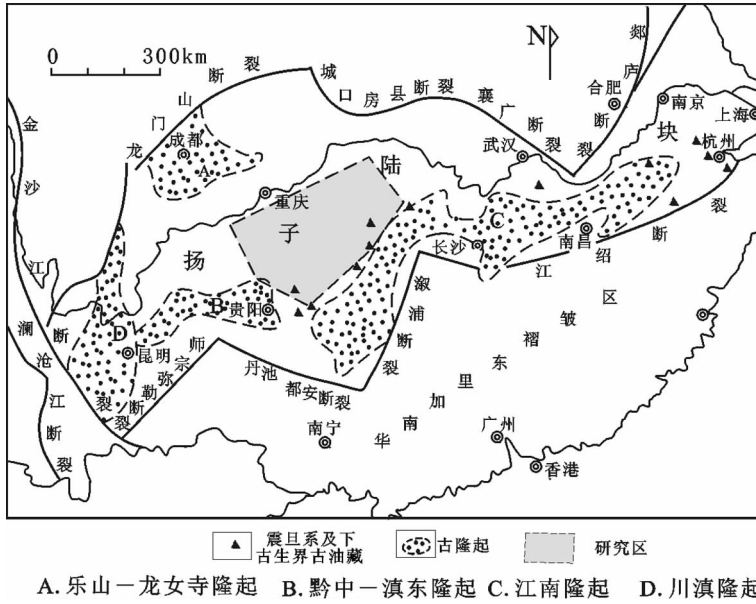


图 1 研究区位置示意图^[1]
Fig.1 Location of the study area^[1]

破。本文对川东南地区志留系小河坝组大量的野外剖面、岩心、测井等资料进行综合研究,旨在分析总结早志留世晚期的沉积相类型及分布特征,为川东南地区古生界的油气勘探奠定基础。

1 沉积相类型

在前人研究的基础上^[14-16],本次研究针对该区的实际沉积特点,选择研究区内关键位置的“三横一竖”共 4 条剖面进行了分析和对比工作(图 2),这 4 条剖面基本覆盖了整个研究区,对它们的详细解剖基本能够反映出研究区内典型的沉积相类型和层序充填模式。通过上述野外剖面观察、钻井剖面、沉积特征、古生物标志及岩性组合等相标志的详细研究,

将研究区划分为三角洲、碳酸盐台地和陆棚 3 个沉积体系,及若干个沉积亚相(表 1)。层序划分笔者在发表在地层学杂志一文中详细描述,在此就不再赘述。下面对其中的 1 条主干剖面分别进行分析。

剖面一:付深 1 井—兴文麒麟—习水吼滩—秀山溶溪—湖南花垣卡棚沉积相对比图(图 3)。此条剖面的选取兼顾了黔中隆起北侧的碳酸岩台地和雪峰山隆起西侧的三角洲沉积。

该剖面位于研究区的南部(图 2),基本呈东西向,由西向东依次付深 1 井、兴文麒麟、习水吼滩、秀山溶溪、湖南花垣卡棚。由此剖面图可以看出,该地区主要发育三角洲、碳酸岩台地和陆棚沉积。

在川东南地区的层序 1 物源主要来自东边的雪

表 1 黔北—川东南地区志留系沉积体系划分

Table 1 Division of Silurian depositional systems in northern Guizhou-southeastern Sichuan area

沉积体系组	沉积相	沉积亚相	微相
过渡沉积体系组	三角洲沉积	三角洲平原	分流河道、分流间湾、分流水道、河口砂坝、远砂坝
		三角洲前缘 前三角洲	
海洋沉积体系组	碳酸盐台地沉积	台地礁滩	生物礁、生物滩、颗粒(鲕粒、核形石等)滩
		开阔台地	
		局限台地	
	台地前缘斜坡		
海洋沉积体系组	灰质陆棚	浅水陆棚、深水陆棚	浅滩、点礁、生物丘
	陆棚沉积	泥质陆棚	砂坝、浅滩
	混积陆棚	浅水陆棚、深水陆棚	

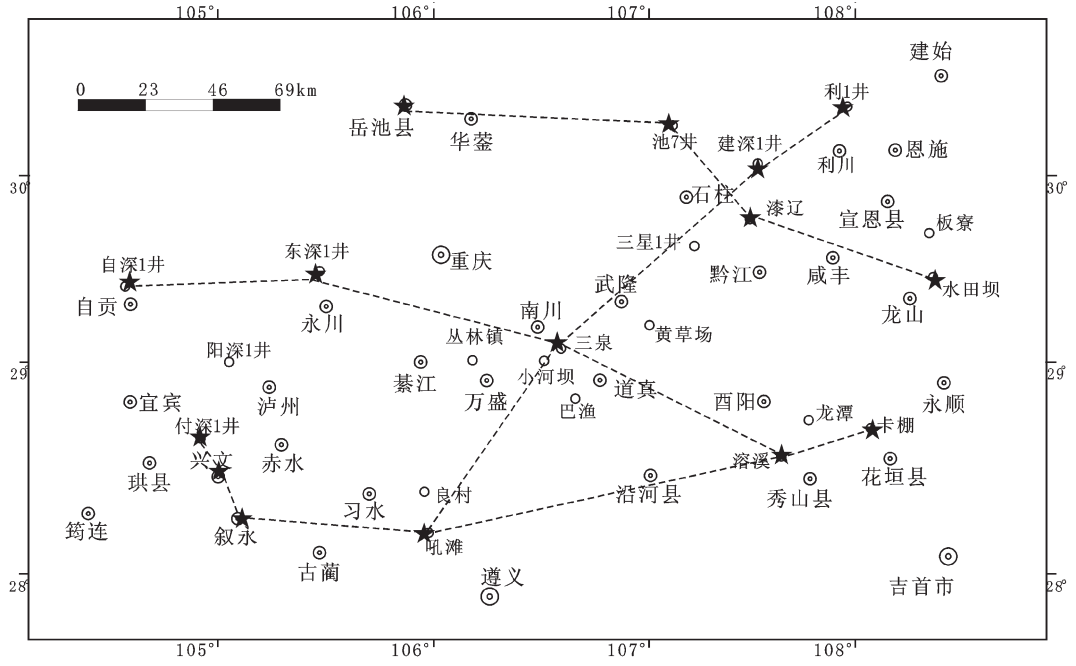


图2 研究区主干剖面位置图

Fig.2 Location of main section in the study area

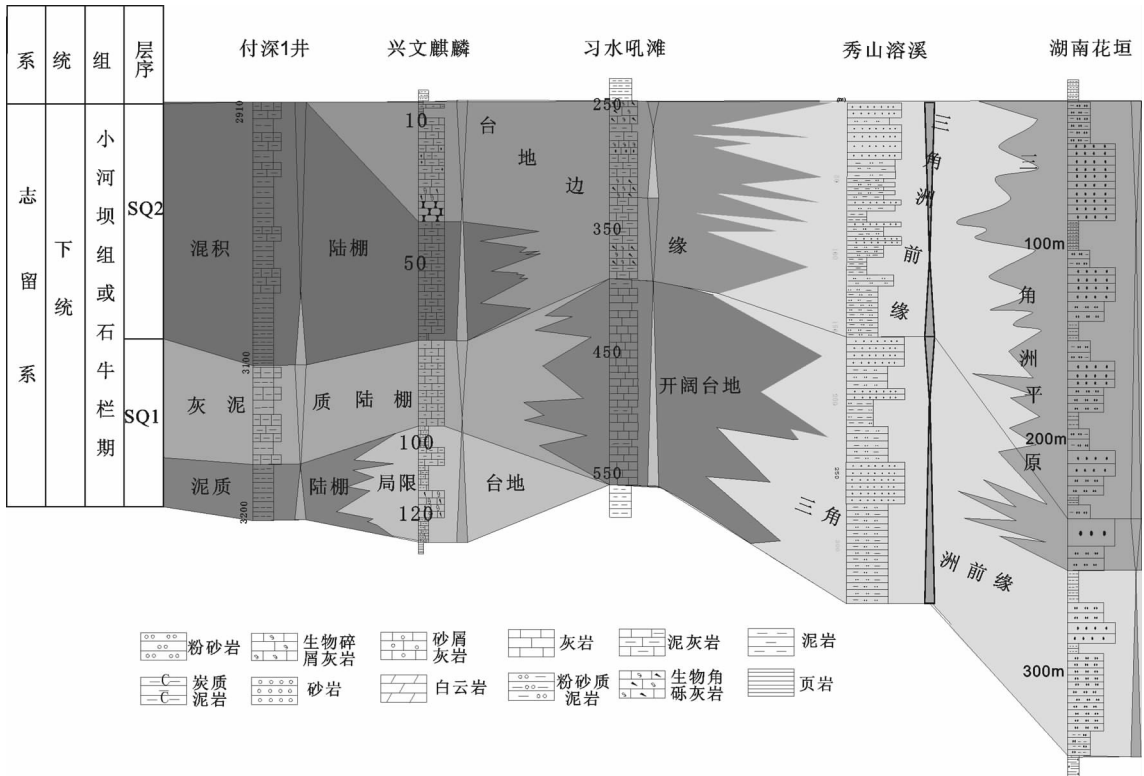


图3 研究区沉积相展布特征

Fig.3 Distribution characteristics of sedimentary facies in the study area

峰山隆起方向,海侵时期仅在湖南花垣、秀山及川东南等地发育三角洲前缘亚相,由其所处的构造位置推测,三角洲平原亚相应该发育在研究区的东侧,在重庆石柱、南川一带海侵期发育河口坝砂体沉积;付深 1 井等地在海侵期发育深水泥质陆棚沉积,主要为深灰色泥页岩夹薄-条带状泥灰岩(薄壳生物灰泥岩)。而在黔北的兴文麒麟海侵期发育局限台地相沉积。高位期在付深 1 井—兴文麒麟一带发育灰泥质陆棚。在黔中隆起北侧如习水吼滩等地广泛发育碳酸岩开阔台地相,主要为薄-中厚层含生物屑微晶灰岩、生物屑灰岩,与泥灰质陆棚的区别主要在于生物特征和剖面结构,后者生物丰度较低、薄壳、壳饰发育,化石保存状态较好,普遍含泥,反映水体相对较深。台地边缘相沉积仅见于筠连—文昌宫—綦江一带,而靠近雪峰山隆起的川东南—湘西地区广泛发育三角洲沉积,三角洲平原亚相不甚发育,多发育三角洲前缘亚相。

层序 2 物源区没有改变,仍是雪峰山隆起向研究区供应物源,整个层序 2 在研究区靠近雪峰山隆起的地区主要发育三角洲沉积,仍以三角洲前缘最为发育,包括水下分流河道、河口砂坝和远砂坝等微相类型。而在研究区西部的付深 1 井—兴文麒麟的海侵期广泛发育混积陆棚,以泥/灰-灰/泥质混积陆棚沉积类型为主,并以向上变浅的相序演化为特征。台地边缘相主要发育于兴文麒麟的高位期和习水吼滩剖面的层序 1 高位期和层序 2。主要发育各种浅灰色-灰色的砂屑、砾屑、生物屑亮晶灰岩,中-厚层-块状构造。生物十分丰富,主要为底栖腕足类、棘皮类,以及各种藻类。一般厚数米,也可达百余米。主要由床板珊瑚呈块瘤状散布于泥质岩或泥晶灰岩层中。珊瑚生长良好的地段(如四川綦江石门坎),发育成厚达数米的礁块。珊瑚格架中充填泥晶方解石,共生有腕足类、头足类、三叶虫、苔藓和蓝藻等生物碎屑。在川东南秀山溶溪剖面的层序 2 主要发育三角洲前缘沉积,而在湖南花垣卡棚剖面则发育三角洲平原沉积。

1.1 三角洲沉积体系

三角洲沉积根据沉积物的岩性组合、颜色特征、粒度特征以及古生物组合又可划分为:三角洲平原、三角洲前缘及前三角洲亚相。其中三角洲前缘亚相最为发育,是研究区沉积的主体。三角洲相的总体特征表现如下:①物源充足、沉积速率快,因此沉积厚

度较大;主要由浅灰色、灰色、深灰色粉砂岩、细砂岩及中砂岩夹灰黑色泥页岩组成。②以牵引流搬运为主,研究区发育了大量反映牵引流搬运作用的沉积构造标志,主要包括平行层理、板状斜层理、槽状交错层理,及槽模等沉积构造。③陆源碎屑岩中常用成分成熟度、结构成熟度来衡量碎屑物质搬运距离和再造程度时,即用石英、长石和碎屑三者的相对含量和碎屑颗粒的分选性、磨圆度来表示。本次研究了大量的岩石薄片资料,研究区三角洲沉积体系的碎屑成分中多以单晶石英为主,含量在 80%~90%,代表火成岩的燧石含量较少;长石含量为 1.5%~6.1%,多以较稳定的钾长石为主,其次为斜长石;岩屑含量在 5.7%~10%,主要为变质岩+沉积岩岩屑,含少量的火成岩岩屑。粒度概率曲线以一跳一悬式、一跳一悬夹过渡式为主,反映牵引流的沉积特征。

通过野外剖面、岩心、测井相的分析,在研究区内识别出:三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲亚相。研究区内发育的三角洲相主要以三角洲前缘和前三角洲亚相为主。

1.1.1 三角洲平原亚相

由于研究区志留系部分被剥蚀等原因,三角洲平原沉积在研究区欠发育,但据邻区地质资料看(如镇雄两河口剖面、贵州桐梓黑石溪剖面),应有三角洲平原分支河道及河道间沉积。岩性为灰褐色厚层细-粗粒砂岩或含砾砂岩夹泥岩。以及在湘西的花垣、沅陵一带发育三角洲平原亚相,其微相类型主要发育一些分流河道、分流间湾等微相。为三角洲沉积的陆上部分,其范围包括从河流大量的分叉位置至海平面以上的广大河口区,是与河流有关的沉积体系在海滨区的延伸。其岩性主要为砂岩、粉砂岩、泥岩。砂质碎屑的分选性差,粒度概率累计曲线与河流相近似。生物化石少,岩体呈透镜状,横向上变化大。分支河道和分流间湾沉积构成该亚相的主体。在研究区志留系小河坝组三角洲平原亚相仅包括分流河道和分流间湾等微相类型(图 4)。

(1) 分流河道微相

岩性以黄褐色极细砂岩-细砂岩为主,夹少量中-细砂岩、细-极细砂岩,砂岩类型以岩屑石英砂岩为主,其成分成熟度指数较低。砂岩分选中等,颗粒为次圆-次棱状为主,其次为圆-次圆状,杂基含量一般为 6%~10%,表明其结构成熟度中等。

砂体下部主要发育槽状交错层理、板状交错层

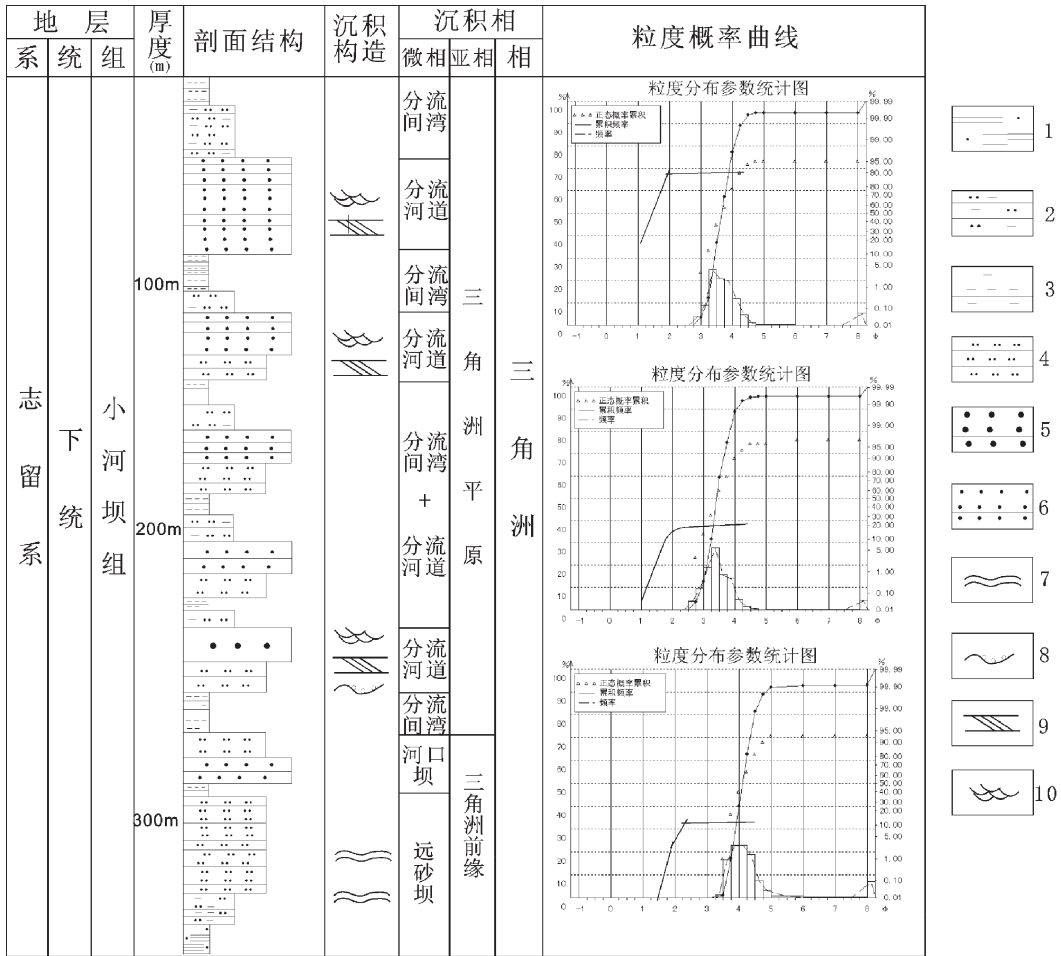


图4 湖南花垣卡棚水库小河坝组三角洲平原沉积

- 1—砂质页岩;2—粉砂质泥岩;3—泥岩;4—粉砂岩;5—粗砂岩;6—中砂岩;7—沙纹层理;
- 8—河床滞留沉积;9—板状交错层理;10—槽状交错层理

Fig.4 Delta plain deposits of Xiaoha Formation in Huayuan County, Hunan Province

- 1—Sandy shale; 2—Silty mudstone; 3—Mudstone; 4—Siltstone; 5—Coarse sandstone; 6—Sandstone;
- 7—Rippled bedding; 8—Riverbed retention sediments; 9—Tabular cross bedding; 10—Trough cross-bedding

理、平行层理及单向斜层理，上部主要发育平行层理、低角底交错层理。砂体内部有时发育强水流形成的冲刷充填构造。砂体底层面发育槽模构造。粒度概率累积曲线以较粗的二段式和三段式为主，表明河道水流能量中等—较强，水动力条件较稳定。C-M图以QR为主，次为PQ段，反映了以牵引流为主的沉积作用。

(2)分流间湾:岩性以褐黄色粉砂质泥岩夹浅褐色泥质粉砂岩、极细—细砂岩为主，砂岩成分成熟度中等，结构成熟度较高。泥质粉砂岩呈薄层状夹于泥岩中，厚5~8 cm，层面上见流水波痕，粒度概率曲线为一跳一悬二段式，极细砂—细砂厚10~15 cm，呈底

凸顶平的透镜状。

1.1.2 三角洲前缘

三角洲前缘亚相:为三角洲的水下部分,位于海平面与浪基面之间,呈环带状分布于三角洲平原向海洋一侧的边缘,分流河道的前端。三角洲前缘是三角洲最活跃的沉积中心。砂岩沉积颗粒较细,但分选好,概率曲线图以跳跃和悬浮搬运为主,纵向上三角洲前缘可划分出水下分流河道、水下天然堤、分流河口砂坝、远砂坝、前缘席状砂和分流间湾等微相,沉积物主要以长石石英粉细砂岩、变形纹层状泥质粉砂岩、含钙质泥质粉砂岩、微粒钙泥质石英粉砂岩、微粒泥质岩屑石英粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩。南川

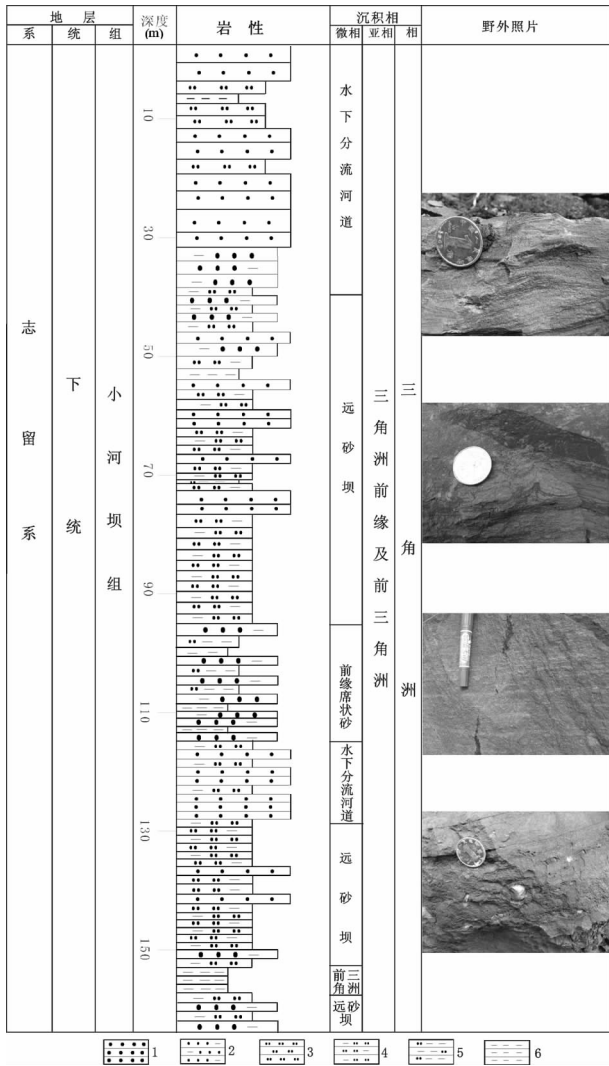


图 5 南川县三泉镇小河坝三角洲前缘沉积
1—砂岩;2—泥质砂岩;3—粉砂岩;4—泥质粉砂岩;
5—粉砂质泥岩;6—泥岩

Fig.5 Delta front deposition of Xiaoha Formation in Sanquan Township, Nanchuan County
1- Sandstone; 2-Argillaceous sandstone; 3-Siltstone;
4- Argillaceous siltstone; 5-Silty mudstone; 6-Mudstone

三泉发育三角洲前缘亚相沉积(图 5)。在野外剖面砂岩中常见对称和不对称的波痕,滑动变形及泄水构造,并见有珊瑚、海百合、三叶虫、瓣鳃、腕足和生物遗迹化石等。

(1)水下分流河道微相

水下分流河道为陆上分流河道的水下延伸部分。在研究区小河坝期该微相沉积以中-厚层状泥质粉砂岩、粉砂岩为主。发育平行层理,层内见变形及泄水构造。粒度概率累积曲线多以两段多为特征。

(2)水下分流间湾微相

水下分流间湾为水下分流河道之间相对凹陷的海湾地区,与海相通。该微相在研究区沉积岩性以灰黑色泥页岩为主,夹深灰、灰色粉砂岩和泥质粉砂岩。具有水平层理,可见浪成波痕及生物钻孔。

(3)分流河口砂坝

三角洲前缘河口坝沉积岩性以灰色中层至厚层状极细粒岩屑石英砂岩和灰色薄-中层状泥质粉砂岩和粉砂岩为主,偶见泥岩夹层。发育平行层理及水平纹理,见浪成波痕等层面构造。古生物化石及遗迹少见,在垂向上,下部一般以极细砂岩为主,上部以粉砂岩和泥质粉砂岩为主,整体在岩性上构成一个向上变细的正旋回。粒度概率累积曲线以“高斜一跳一悬二段式”为特征,跳跃组分含量在 60%~80%,其粒度区间一般在 0.031 25~0.125 mm,分选较好。从薄片资料看,粉砂岩的分选好-中等,磨圆度较好,一般为次圆状,颗粒支撑。

(4)远砂坝微相

远砂坝位于河口砂坝前较远的部位,岩性以灰色、深灰色粉细砂岩和粉砂质泥岩互层为特征。发育沙纹层理,见波状交错层理和脉状-波状-透镜状复合层理。

1.1.3 前三角洲亚相

前三角洲亚相位于三角洲前缘的前方,沉积物大部分是在波基面以下深度范围内形成的,主要由暗色泥页岩和粉砂质泥页岩组成,含少量粉砂岩,有时可见海绿石等自生矿物。

常发育纹层状层理、水平层理、生物潜穴及生物扰动构造发育。以暗色泥岩为主,富含有机质。研究区前三角洲亚相主要发育于研究区的池 7 井—三星 1 井—线以西部位。仅发育以前三角洲泥一种微相类型为主。其岩性一般以粉砂质泥、页岩为主,在泥、页岩中常夹泥质粉砂岩和粉砂岩夹层,其层理以水平层理为主,波痕、遗迹和生物化石都很少见到。常与泥质陆棚沉积过渡,二者主要根据相序变化及剖面结构相区别,三角洲沉积体系的剖面结构表现出由多个前三角洲到三角洲前缘组成的进积旋回特点。

1.2 碳酸盐岩台地沉积体系

主要发育靠近黔中隆起的石牛栏中、晚期,为一套生物灰岩、生物碎屑灰岩、含生物/生屑微-粉晶灰岩、白云质灰岩及灰质白云岩组成。根据岩性、生物特征及剖面结构可进一步划分为台地礁(滩)、开

阔台地、局限台地和台缘斜坡 4 个亚相。典型的台地礁(滩)如长宁地区生物礁、生物碎屑滩、颗粒(鲕粒、核形石、豆粒)滩、叙永田中、安基屯生物礁滩等。

(1) 台地礁(滩)

石牛栏中晚期最为发育,如长宁地区生物礁、生物碎屑滩、颗粒(鲕粒、核形石、豆粒)滩,叙永田中、安基屯生物礁(滩),贵州习水土河坝-温水一带生物礁。此外,上述地区石牛栏的早期亦见生物滩发育。碳酸盐台地礁(滩)是在陆棚的基础上发育起来的,是陆棚浅滩化和台地化的结果,常受潮汐和风暴浪的作用改造,可见潮道沉积,槽状、“人字形”等交错层理发育。生物礁可进一步分为台地边缘生物礁和台内点礁(图 6)。典型的台地边缘生物礁见于习水土河坝剖面,该类礁体横向上呈串珠状向东北延伸至温水一带,经綦江观音桥到桐梓韩家店尖灭,向西南与长宁生物礁(滩)相连,至珙县狮子滩尖灭,礁体厚可达 30 m。台地浅滩也可分为台地边缘浅滩及台内浅滩。按颗粒成分可分为生物滩和颗粒滩。常见的生物滩是介形、腕足、棘屑滩及混合滩,颗粒滩以鲕粒滩、核形石滩为主。棘屑滩在台地区各层位均较发育,单层厚一般 1 m 以下,多为 0.3~0.5 m;介壳滩主要发育于长宁地区,如天堂坝的介壳(腕足)滩,厚达 3~5 m,腕足个体较大;鲕粒、核形石滩主要发育于长宁及其东南地区,如太 13 井、古宋袁家洞及麒麟剖面等。

(2) 开阔台地

开阔台地沉积是在混积(灰/泥)和灰质陆棚基础上发育形成,为薄-中厚层含生物屑微晶灰岩、生物屑灰岩。主要分布在高县—叙永—习水一线以南的广大地区。与陆棚泥灰岩的区别主要在于生物特征和剖面结构,后者生物丰度较低、薄壳、壳饰发育,化石保存状态较好,普遍含泥,反映的环境水体相对较深;在剖面结构上,开阔台地碳酸盐岩多与礁(滩)沉积交替出现,灰质浅水陆棚含生物屑泥晶灰岩多位于混积深水陆棚泥灰岩、灰质泥岩韵律之上或泥质陆棚沉积之间。如在贵州习水良村镇发育的石牛栏组上段底部为深灰、灰色、浅灰色中厚层夹块状及薄层状泥晶灰岩,含泥质灰岩,亮晶生物屑灰岩、亮晶内碎屑灰岩及含泥质灰岩。发育水平层理及平行层理,并见有低角度斜层理及小型交错层理,属开阔台地至台地边缘相沉积(图 7)。

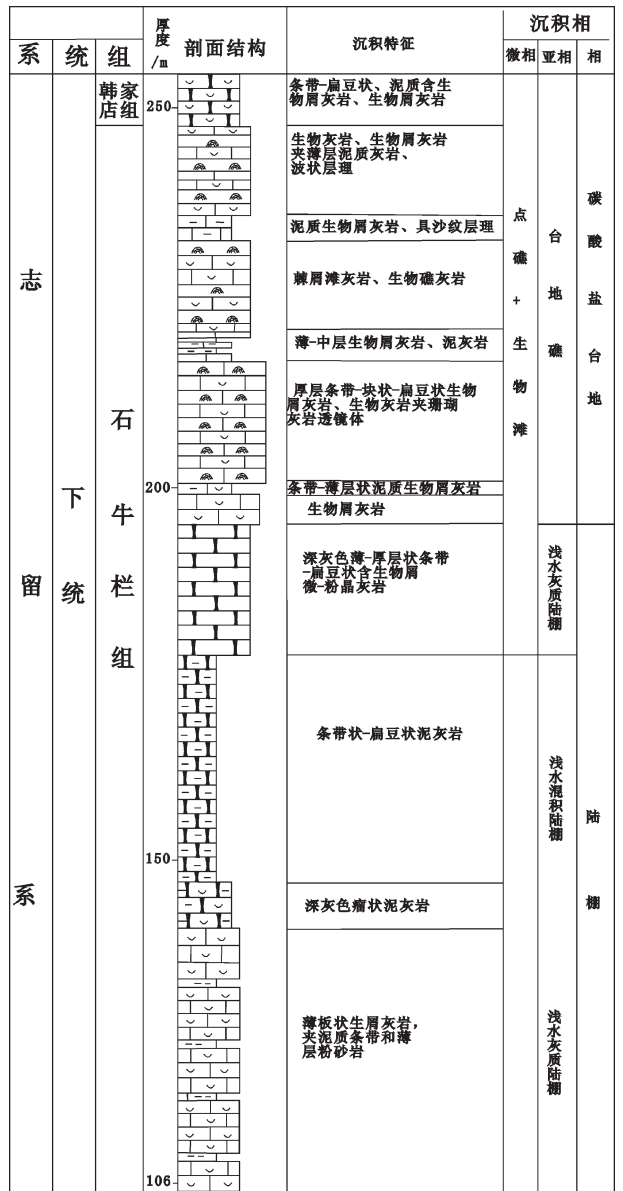


图 6 叙永志留系碳酸盐岩台地沉积剖面结构
Fig.6 The profile structure of Silurian carbonate platform in Xuyong

(3) 局限台地

局限台地仅分布在威信木拉、叙永安基屯、习水土河坝—温水一带,为藻纹层状白云质球粒泥晶灰岩、微晶灰质白云岩,鸟眼构造发育。台地靠陆侧常见白云石化,在深埋藏过程中,埋藏-调整白云石化作用进一步改造。

(4) 台地前缘斜坡

台地前缘斜坡沉积主要分布于高县—珙县—官

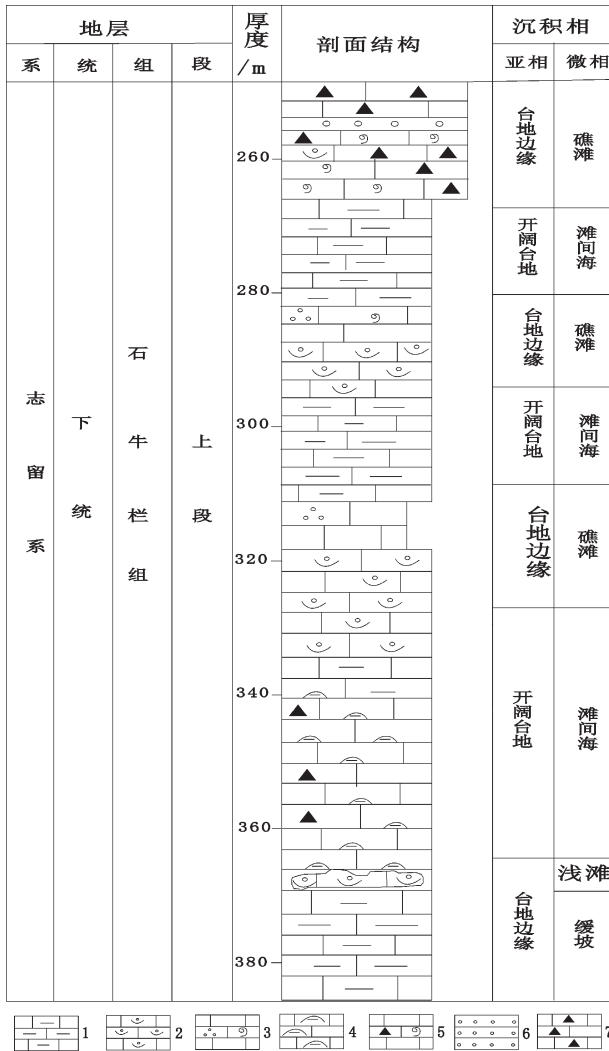


图 7 贵州习水县吼滩石牛栏组上段沉积剖面结构

1—泥灰岩;2—生物屑灰岩;3—砂质介壳灰岩;4—薄层生物屑灰岩;5—砾屑介壳灰岩;6—砂岩;7—砾屑灰岩

Fig.7 Sedimentary profile of the upper member of Shiniulan Formation in Houtan, Xishui County, Guizhou Province

1-Marl; 2-Bioclastic limestone; 3-Sandy shell limestone; 4-Thin bioclastic limestone; 5-Rudite shell limestone; 6-Sandstone; 7-Calclrudite

渡塘—观音桥一线以南,古宋大垭口—古宋—习水—习水温水—桐梓黑石溪一线以北的狭长地带。为一套中—厚层生物(礁滩)砾屑灰岩、颗粒灰岩夹泥页岩沉积。在贵州习水良村镇发育的石牛栏组上段顶部为浅灰、灰白色厚层、块状夹亮晶砾屑灰岩、沥青质生物角砾灰岩、亮晶生物灰岩含沥青生屑灰岩,此段属台地边缘斜坡相沉积。

此外,在盆地近岸区,即研究区南缘叙永安基屯及东南缘一带尚见碳酸盐台地与陆源碎屑滨岸混合

沉积,主要为一套灰色中厚层棘屑灰岩或生物介壳灰岩与中薄层石英砂岩、长石石英砂岩韵律组合。在紧邻海岸地区,常有滨岸前滨、沙滩及三角洲前缘砂体发育。根据收集的剖面资料来看,西南镇雄两河口砂坝与生物滩交互沉积,在西南缘的黑石溪、椒园一带发育三角洲及滨岸砂体,均属于此类沉积。

1.3 陆棚沉积体系

陆棚体系在川南—黔北地区广泛发育,根据沉积组合将陆棚体系划分为泥质陆棚体系、陆源碎屑—碳酸盐混积陆棚体系及灰质陆棚体系。混积陆棚和灰质陆棚又可根据水体深、浅划分为浅水陆棚和深水陆棚。在浅水陆棚中进一步划分出浅滩(灰质)、点滩、生物丘等。陆棚体系在研究区南部广泛发育。总体而言,深水陆棚分布于宫深 1 井—自贡—内江一带及其以北地区,浅水陆棚则发育在其以南地区。

(1) 泥质陆棚

泥质陆棚为本区最发育沉积体系之一,常夹薄条带状泥晶灰岩或含生物泥灰岩。浅水泥质陆棚在相序上常与碳酸盐台地、浅水灰质陆棚、浅水混积陆棚等沉积共生。深水泥质陆棚在研究区分布范围最为广泛,为深灰色泥页岩夹薄层—条带状泥灰岩沉积,如研究区西北部广大地区、长宁构造以北广大地区、宫深 1 井—自深 1 井—东深 1 井—重庆以北等地都广泛发育泥质陆棚。

(2) 混积陆棚

混积陆棚是表现为灰、泥、砂组分的混合沉积,在相序上表现为灰/泥、灰/砂或灰/泥/砂等不同比例组成的韵律沉积(图 8)。浅水混积陆棚,主要分布在长宁—南溪—桐 18 井—阳深 2 井—太 13 井一带,呈不规则环带状分布,及叙永安基屯—桐梓下河坝一带。岩石组合有以下几种形式:①浅水陆棚泥岩与浅滩生物屑灰岩(或薄层介壳灰岩、钙质细粉砂岩)呈韵律沉积;②浅滩生物屑灰岩与砂坝(钙质)石英砂岩呈韵律沉积;③砂/泥/灰质(为砂质含生物屑泥晶灰岩、粉砂质介壳泥灰岩与钙泥质粉砂岩、页岩)韵律沉积。深水混积陆棚有两种类型:一种是碳酸盐台地相带分布区的条带状—扁豆状—瘤状泥灰岩/灰质泥岩韵律沉积,如石牛栏早期,为泥/灰—灰/泥质混积陆棚沉积类型,并以向上变浅的相序演化为特征;另一种是灰黑色—灰绿色泥页岩夹薄—条带状泥灰岩韵律沉积。沿宫深 1 井—自贡—内江一带及其以北分布,如宫深 1 井、自深 1 井的石牛栏期沉积。

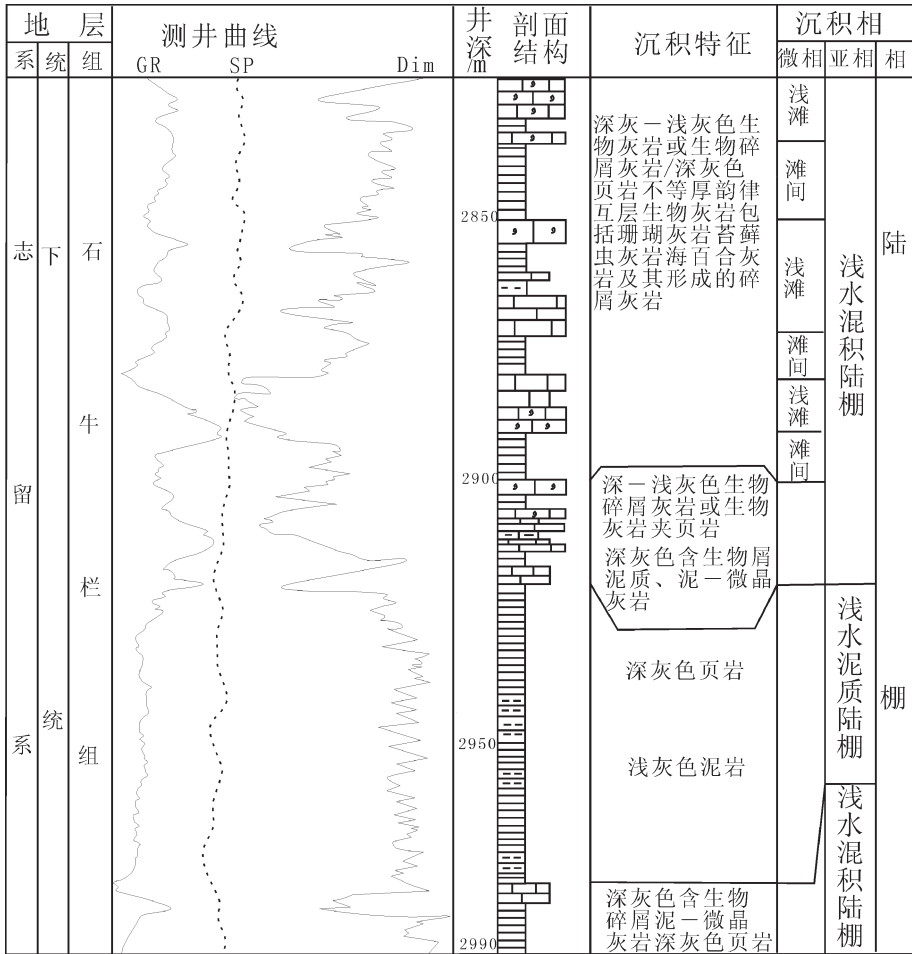


图 8 自深 1 井石牛栏组陆棚沉积剖面结构

Fig.8 Shelf sedimentary profile of Shiniulan Formation in Zishen 1 well

(3) 灰质陆棚

浅水灰质陆棚多分布于长宁—长宁莲花寺—南溪—桐 18 井一带(呈向北西凸出的半弧环带状),及东侧南川、坡渡周围。根据沉积特点可进一步分为灰质浅滩和泥灰质沉积。浅水灰质陆棚更多地表现为灰色瘤状泥—微晶灰岩、中厚层状含生物屑微晶灰岩夹薄层钙质泥岩。此外,也常表现为混积浅水陆棚中的灰质浅滩沉积,为生物屑灰岩或生物屑灰岩夹泥页岩沉积(如桐 18 井;老深 1 井);受东侧小河坝、万盛等三角洲发育的影响,常含砂泥质,深水灰质陆棚在本区很少发育。

2 沉积模式

早志世晚期研究区周缘主要存在川中隆起、黔中隆起、江南—雪峰山隆起。即呈现出“三隆一凹”的格局。

川中隆起是自震旦纪以来的一个继承性古隆起,寒武纪形成雏形,奥陶纪进一步扩大,志留纪末期古隆起的形成,对研究区的控制作用不大。

黔中隆起是指贵州遵义一带在奥陶纪—志留纪时的一个东西向隆起。从石炭系与寒武系娄山关白云岩假整合、大方一带为二叠系与寒武系假整合、主隆部位的周边下志留统与中下奥陶统或中上奥陶统假整合,上覆地层的厚度由边缘向主隆减薄或尖灭等地质现象看,黔中隆起的雏形始于中奥陶世末至晚奥陶世初,奥陶纪与志留纪间的都匀运动使黔中隆起形成,中晚奥陶世—早志留世,为黔中隆起的定型期,志留纪完成古隆构造,泥盆纪时转为红土化过程。黔中隆起晚寒武世至奥陶纪,到志留纪时期与牛首山古陆、向东与江南—雪峰山隆起、苗岭隆起拼合在一起^[7]。该隆起的出现控制了当时黔中地区的古地理、古构造格局,进而控制着这段时期地层的垂直

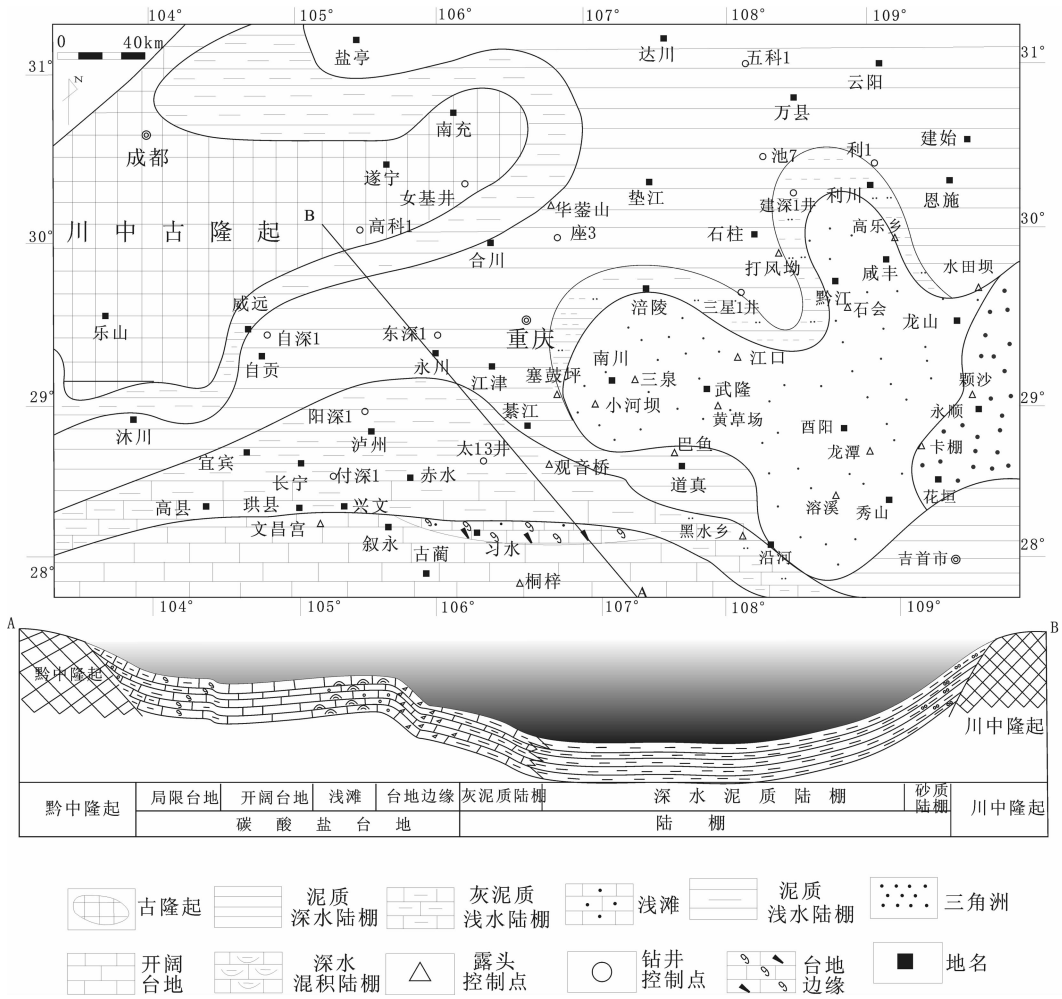


图 9 黔中隆起北缘小河坝(石牛栏)期碳酸盐岩台地沉积模式图

Fig.9 Carbonate platform depositional model of Xiaohelba period in the northern margin of Guizhou uplift

发育序列和横向展布情况(图 9)。

江南—雪峰山隆起为一北东向的构造带,长 1 000 多千米,可分为两段:南段泛指黔东南的三都以东至桂北,以贵州的苗岭山脉为主;北段由湘鄂交界至湘西北一带,包括武陵山的东北段和雪峰山。在构造边界上东为安化—溆浦—龙胜断裂带,包括雪峰山构造带;西为慈利—保靖以西的龙山、来凤一带,包括武陵山构造,东西宽度至少有 150 km。

江南—雪峰山隆起经历了:新元古代初为扬子陆块的增生带和拼贴岛弧^[18],晋宁运动克拉通化,成为克拉通边缘海盆地;早古生代末盆地反转,成为隆起区,即早古生代(加里东运动末期),江南—雪峰真正隆起的时代是在早志留世小河坝(石牛栏)沉积时期,而作为隆起控制其西部的川东南凹陷区的沉积物质组成及其分布,并向其提供物源,早志留世晚

期,随着华南板块与扬子板块的拼接,华南板块缓慢地向扬子板块的蠕动,致使扬子板块整体的缓慢抬升,同时沉积中心不断向西北迁移。研究区内主要表现为水体向上变浅,沉积了一套向上变粗的沉积旋回。表现为在川东南—湘西地区的秀山溶溪—西阳龙潭—南川—武隆—黔江一带发育三角洲前缘沉积,即小河坝组砂岩(图 10);沉积了一套灰色、灰黄色和灰绿色的细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩。三角洲平原发育于湘西地区的湖南花垣—永顺—龙山水田坝一带。

3 结论

(1)通过野外剖面、钻/测井相等相标志的详细研究,确定研究区共发育了 2 个沉积体系组、3 种沉积相及众多亚相、微相类型。其中海陆过渡沉积体系

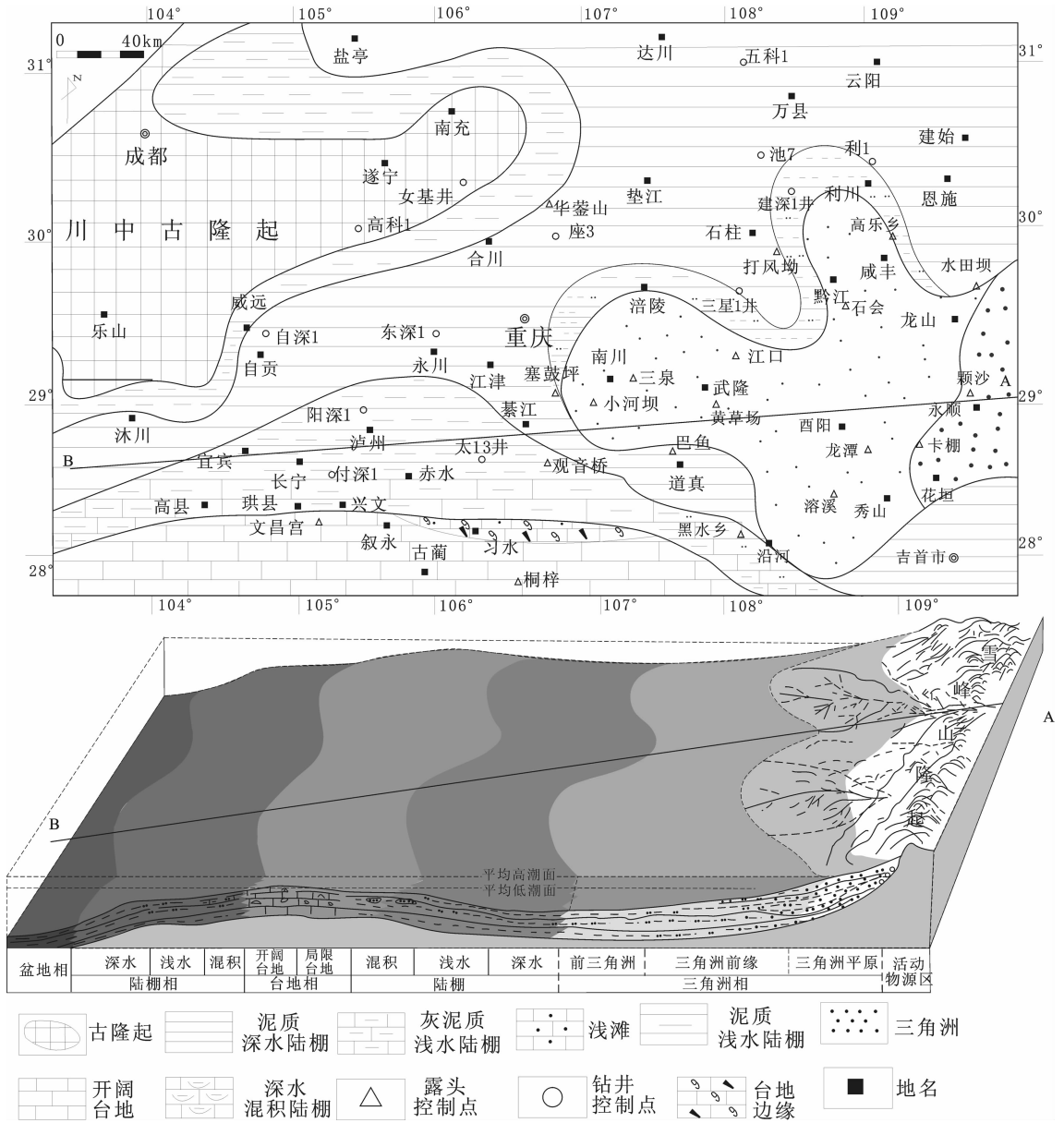


图 10 江南—雪峰山隆起西缘小河坝(石牛栏)期三角洲沉积模式图

Fig.10 Delta depositional model of Xiaoha period in the western margin of the Jiangnan - Xuefeng mountain uplift

组主要由三角洲构成,发育于靠近雪峰山隆起的川东南—湘西地区;海洋沉积体系组主要发育陆棚、碳酸盐台地沉积,主要分布于川南—黔北地区。

(2)早志留世晚期沉积模式显示了川东南为受古隆起控制的局限海盆,东部受江南—雪峰山隆起控制,由于华南板块与扬子板块的拼接,以及华南板块缓慢向扬子板块的蠕动,致使扬子板块整体的缓慢抬升,同时沉积中心不断向西北迁移。研究区内主要表现为水体向上变浅,沉积了一套向上变粗的三角洲沉

积。南部受黔中隆起控制,由于黔中隆起相对稳定,因此在其北侧主要发育碳酸岩台地沉积。总体上,这一时期沉积中心不断向北西方向移动,表现为碳酸盐台地、浅水陆棚进一步向北西方向扩展,深水泥质深水沉积仅局限分布于研究区北部万县—达川一带。

参考文献(References):

[1] 王根海. 中国南方海相地层油气勘探现状及建议 [J]. 石油学报, 2000, 21(5): 1-6.

- southern China—exploration situation and proposal [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(5): 1–6(in Chinese with English abstract).
- [2] 万方, 许效松. 川滇黔桂地区志留纪构造—岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2003, 5(2):180–186.
Wan Fang, Xu Xiaosong. Tectonic—lithofacies palaeogeography of the Silurian in Sichuan—Yunnan—Guangxi region [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2003, 5 (2):180–186 (in Chinese with English abstract).
- [3] 郑荣才, 朱如凯, 翟文亮, 等. 川西类前陆盆地晚三叠世须家河期构造演化及层序充填样式[J]. *中国地质*, 2008, 35(2):246–255.
Zheng Rongcai, Zhu Rukai, Zhai Wenliang, et al. Tectonic evolution and sequence filling patterns in the western Sichuan foreland-like basin in the Upper Triassic Xujiahe period[J]. *Geology in China*, 2008, 35(2):246–255(in Chinese with English abstract).
- [4] 陈洪德, 庞林, 倪新锋, 等. 中上扬子地区海相油气勘探前景[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(1):13–18.
Chen Hongde, Pang Lin, Ni Xinfeng, et al. New brief remarks on hydrocarbon prospecting of marine strata in the middle and upper Yangtze region [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(1): 13–18(in Chinese with English abstract)
- [5] 许国明, 王国司, 石国山. 黔中隆起及其南北斜坡区天然气勘探前景[J]. *贵州地质*, 2008, 25(2):27–31.
Xu Guoming, Wang Guosi, Shi Guoshan. The natural gas exploration prospecting in Qianzhong protrusion and its south and north slope area[J]. *Guizhou Geology*, 2008, 25(2):27–31(in Chinese).
- [6] 杨晓萍, 张宝民, 柳少波. 四川盆地南部志留系碳酸盐灰泥丘成因与储集性[J]. *海相油气地质*, 2002, 7(4): 26–32.
Yang Xiaoping, Zhang Baomin, Liu Shaobo. Origin and reservoir property of Silurian carbonate mud mound in southern Sichuan basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2002, 7 (4):26–32(in Chinese with English abstract).
- [7] 宋文海. 川东南下志留统小河坝砂岩含气地质条件论述——一个未来的勘探区块[J]. *天然气勘探与开发*, 1998, 21(2): 1–5.
Song Wenhai. Discussion on the geological conditions of gas in of the sandstone in Silurian Xiaoheba formation in Southeastern Sichuan Province— a future exploration blocks [J]. *Natural Gas Exploraiton & Development*, 1998, 21(2):1–5(in Chinese).
- [8] 张丛, 聂瑞贞. 黔北地区志留系层序地层格架与油气勘探前期分析[J]. *新疆地质*. 2006, 24(2):161–164.
Zhang Cong, Nie Ruizhen. Silurian sequence stratigraphic framework and the pre-analysis of petroleum exploration in northern Guizhou Province[J]. *Xinjiang Geology*, 2006, 24(2):161–164(in Chinese with English abstract).
- [9] 张林, 魏国齐, 郭英海, 等. 四川盆地志留世层序地层及有利储集层分布[J]. *天然气工业*, 2005, 25(5):6–8.
Zhang Lin, Wei Guoqi, Guo Yinghai, et al. Favorable reservoir distribution in Sichuan basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(5): 6–8(in Chinese with English abstract).
- [10] 戴荔果, 郑荣才, 李爽, 等. 川东—渝北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征[J]. *中国地质*, 2009, 36(1):110–119.
Dai Ligu, Zheng Rongcai, Li Shuang, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Lower Triassic Feixianguan Formation in eastern Sichuan and northern Chongqing area [J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):110–119(in Chinese with English abstract).
- [11] 陶树, 汤达祯, 周传祚, 等. 川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义 [J]. *中国地质*, 2009, 36(2):397–403.
Tao Shu, Tang Dazhen, Zhou Chuanyi, et al. Element geochemical characteristics of the lower assemblage hydrocarbon source rocks in southeast Sichuan—central Guizhou (Chuangdongnan—Qianzhong) region and its periphery areas and their implications to sedimentary environments [J]. *Geology in China*, 2009, 36(2):397–403(in Chinese with English abstract).
- [12] 徐胜林, 陈洪德, 林良彪, 等. 川东南地区飞仙关组层序岩相古地理特征[J]. *中国地质*, 2009, 36(5):1055–1065.
Xu Shenglin, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Lower Triassic Feixianguan Formation in southeastern Sichuan Basin [J]. *Geology in China*, 2009, 36(5):1055–1065 (in Chinese with English abstract).
- [13] 倪新锋, 陈洪德, 韦东晓. 礁滩复合型气藏物质聚集分布及储层特征研究——以川东北地区普光气田长兴组—飞仙关组为例 [J]. *中国地质*, 2007, 34(6): 1045–1054.
Ni Xinfeng, Chen Hongde, Wei Dongxiao. Distribution and accumulation of materials in shoal—reef compound gas deposits and reservoir characteristics——A case study of the Changxing—Feixian Formation in the Puguang gas field, northeastern Sichuan [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (6): 1045–1054 (in Chinese with English abstract).
- [14] 马东洲, 陈洪德, 朱利东, 等. 川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*[J]. 2006, 33(3): 228–232.
Ma Dongzhou, Chen Hongde, Zhu Lidong, et al. Depositional system and lithofacies and paleogeography of the Silurian Shiniulan Formation in the southern Sichuan Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of technology(Science & Technology Edition)*, 2006, 33(3):228–232(in Chinese with English abstract).
- [15] 郭英海, 李壮福, 李大华, 等. 四川地区早志留世岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2004, 6(1):21–29.
Guo Yinghai, Li Zhuangfu, Li Dahua, et al. Lithofacies palaeogeography of the early Silurian in Sichuan area [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(1):21–29(in Chinese with English abstract).
- [16] 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 等. 黔北—川东南志留系层序格架下的沉积体系演化特征及有利区带预测 [J]. *沉积学报*, 2010, 28(2): 31–41.
Zhu Zhijun, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Depositional system evolution characteristic in the framework of sequences of silurian and prediction of favorable zones in northern Guizhou—southeastern Sichuan[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(2): 31–41(in Chinese with English abstract).

- [17] 许效松, 刘伟, 周棣康, 等. 黔中-黔东南地区下志留统沉积相 [J]. 古地理学报, 2009, 11(1):13-19.
Xu Xiaosong, Liu Wei, Zhou Dikang et al. Sedimentary facies of the Lower Silurian in central and southeastern Guizhou Province [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11 (1):13-19 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘宝珺. 中国南方岩相古地理图集[M].北京:科学出版社, 1994: 45-89.
Liu Baojun. Lithofacies Paleogeography in South China Atlas [M]. Beijing:Science Press, 1994:45-89(in Chinese).

An analysis of sedimentary characteristics and model of Silurian Xiaoheba Formation in southeastern Sichuan Province

ZHU Zhi-jun^{1,2}, CHEN Hong-de³

(1. State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 2. College of Geosciences, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, Jiangxi, China; 3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: In order to determine sedimentary characteristics and model of the Late Early Silurian strata, the authors comprehensively studied outcrop sedimentary features and a large number of core and well logging data of the Silurian Xiaoheba Formation. The results show that the late Early Silurian transitional sedimentary system group and marine sedimentary system group are developed in southeastern Sichuan Province and include three kinds of sedimentary facies and lots of sub-facies as well as micro-facies. Delta deposits are developed in southeast Sichuan - western Hunan area close to Xuefeng Mountain uplift. Carbonate platform deposits are developed in southern Sichuan - northern Guizhou area. Shelf deposits are developed in the Yibin - Chongqing area. Sedimentary model shows that southeastern Sichuan area was a confined basin in early Silurian Xiaoheba period controlled by the uplift. In the east, controlled by Jiangnan - Xuefeng Mountain uplift, there exist a set of upward coarsening delta deposits. In the south, controlled by the relatively stable Guizhou uplift, carbonate platform deposits are existent on the northern side. The new understanding has an important theoretical and practical significance for more accurately predicting the distribution of the sandstone of Xiaoheba Formation in southeastern Sichuan Province, forecasting favorable accumulation zones and further deploying oil and gas exploration.

Key words: southeastern Sichuan Province; Silurian; Xiaoheba Formation; depositional model

About the first author: ZHU Zhi-jun, male, born in 1976, doctor, mainly engages in the teaching and study of sedimentology; E-mail: zhuzj013@163.com.